

Article, Published Version

Hein, Wolfgang

Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittellandkanal

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102896>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hein, Wolfgang (1986): Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittellandkanal. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 59. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 105-116.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



ÜBER DAS KORROSIONSVERVERHALTEN VON STAHL- SPUNDWÄNDEN IM MITTELLANDKANAL

On the corrosion behaviour of sheet
pilings in the Mittelland Canal



Wolfgang Hein, Dr.rer.nat Oberregie-
rungsrat in der Bundesanstalt für
Wasserbau.

Geboren 1926, Chemiestudium an der
Universität Mainz von 1949 bis 1958,
Institut für Gießereitechnik Düssel-
dorf von 1958 bis 1962, Institut für
Reaktorbauelemente der Gesellschaft
für Kernforschung Karlsruhe von
1962 bis 1970, seit 1970 in der Bun-
desanstalt für Wasserbau.

Neben Veröffentlichungen in den er-
sten beiden Instituten Veröffentli-
chungen in der BAW vorwiegend auf dem
Gebiet der Korrosion im Wasser und an
wetterfesten Stählen.

Inhaltsangabe

In der Literatur ist für die Korrosion von Stahlspundbohlen in Süßwasser eine gleichmäßige, sehr geringe Korrosion angegeben. Aufgrund einer Vielzahl von Messungen an Spundwänden des Mittellandkanals wurde nachgewiesen, daß die Abrostung nicht gleichmäßig erfolgt.

Werden die jeweiligen maximalen Abrostungen zugrundegelegt, so ergibt sich, daß die Korrosionsrate mit der Standzeit abnimmt. Anhand der geradlinigen Beziehung zwischen Korrosionsrate und Standzeit im logarithmischen Maßstab lassen sich die zu erwartenden Abrostungen abschätzen.

Summary

Generally the corrosion rate of sheet pilings in fresh water is supposed to be uniform and very small. Measurements on a great number of sheet pilings at the Mittelland Canal showed nonuniform corrosion rates.

The comparison of maximum rates proves the decrease of the corrosion rate with the advance in years.

By means of the relation between corrosion rate and age formed as straight line on a logarithmic scale it is possible to estimate the prospective corrosion.

I N H A L T

Seite

1 Einleitung und Veranlassung	107
2 Das Korrosionsprofil	107
3 Korrosionsverhalten im Wasser	110
3.1 Die Korrosion im Unterwasserbereich	111
3.2 Die Korrosion im Überwasserbereich	115
4 Zusammenfassung	115
5 Literatur	116

1 Einleitung und Veranlassung

Beim Ausbau des Mittellandkanals, d.h. bei der Erweiterung des Kanalprofils, werden bzw. wurden streckenweise die Ufer ein- z.T. auch beidseitig mit Stahlspundwänden eingefast.

Da nach der allgemeinen Erfahrung und der Literatur im Süßwasser nur mit einer sehr geringen Korrosion zu rechnen ist, erscheint die Anwendung von ungeschütztem Stahl vertretbar.

So ist in den "Empfehlungen des Arbeitsausschusses
Ufereinfassungen" EAU 85 /1/
unter 8.1.10.1 Korrosion in Süßwasser (Seite 269) beschrieben:

"Stahlspundwände haben sich in Süßwasser seit Jahrzehnten bewährt, sofern sie weder Sandschliff noch chemischen Angriffen ausgesetzt sind.

Ein besonderer Schutz ist dann im Süßwasser nicht nötig, da z.B. in Deutschland nur eine mittlere Schwächung um 0,012 mm im Jahr auf der Wasserseite festgestellt worden ist. Die Korrosion verteilt sich im Süßwasser fast gleichmäßig über die gesamte freie Spundwandhöhe."

Nach diesen Angaben ist bei richtig bemessenen Stahlspundwänden in stehendem oder schwach fließendem Süßwasser mit einer langen Standzeit zu rechnen.

Am Mittellandkanal im Bereich Braunschweig etwa bei MLK-km 215 bis 218 zeigten sich jedoch im Überwasserbereich bereits nach wenigen Jahren starke Schäden und Durchrostungen, die erheblich über dem sonst üblichen Maß an anderen Kanalabschnitten lagen. Die örtlichen Erhebungen ergaben, daß hier die Abrostung an der Bodenseite ein Vielfaches von der auf der Luft - bzw. Wasserseite betrug. Die Ursache für dieses Phänomen wird zur Zeit noch untersucht. Über diese Untersuchungen und die dabei gewonnenen Erkenntnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt gesondert berichtet werden.

Um einen Überblick über die bisher insgesamt aufgetretenen Abrostungen zu erhalten, wurden 1985 von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte Dickenmessungen mit Ultraschall an den Spundwänden des Mittellandkanals, und zwar über die ganze Länge der Strecke veranlaßt.

2 Das Korrosionsprofil

Auf die daraufhin von der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe und der Außenstelle Küste in Hamburg 1985 durchgeführten Restwanddickenmessungen mit Ultraschall an den Spundwänden des MLK, deren Ergebnisse in vier Berichten /2/ niedergelegt wurden, sei an diese Stelle nur hingewiesen.

Wie bereits erwähnt, soll sich nach den EAU 85 /1/ die Korrosion im Süßwasser fast gleichmäßig über die gesamte freie Spundwandhöhe verteilen.

Bei der Bestimmung der Restwanddicke wurde an jeder Bohle im Bereich des Wasserspiegels in einem Meßstellenabstand von 10 cm, sonst in größerem Abstand gemessen. Bild 1, entnommen aus dem angeführten Bericht /2c/, gibt die Anordnung der Meßstellen wieder. Der Verlauf des Korrosionsprofils läßt sich danach im Bereich des Wasserspiegels recht genau ermitteln, während in größeren Tiefen der Verlauf nur angenähert bestimmt werden kann.

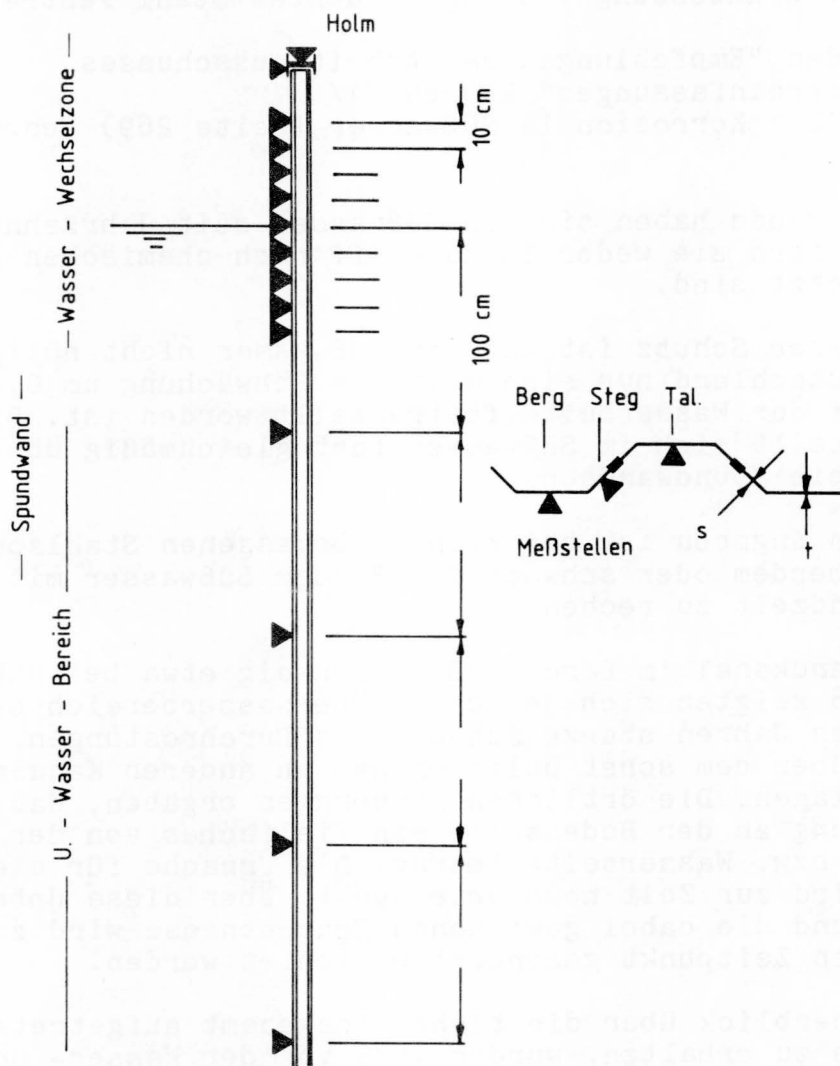


Bild 1 Anordnung der Messpunkte über eine Spundbohle

In Bild 2 sind einige Korrosionsprofile aus dem gleichen Bericht niedergelegt. Es geht deutlich daraus hervor, daß die Korrosion großflächig nicht einheitlich verläuft, sondern daß es Zonen stärkerer und schwächerer Korrosion gibt. In vielen Fällen findet sich ein Korrosionsmaximum im unmittelbaren Bereich unter dem Wasserspiegel, der Belüftungszone. Teilweise sind wiederum die stärksten Korrosionen im Überwasserbereich zu finden. Wie aus den unterschiedlichen Formen der Abrostungsprofile zu folgern ist, läßt sich eine Auswirkung der Schifffahrt bzw. der durch die Schifffahrt erzeugten Wasserbewegung auf die Korrosion nicht erkennen.

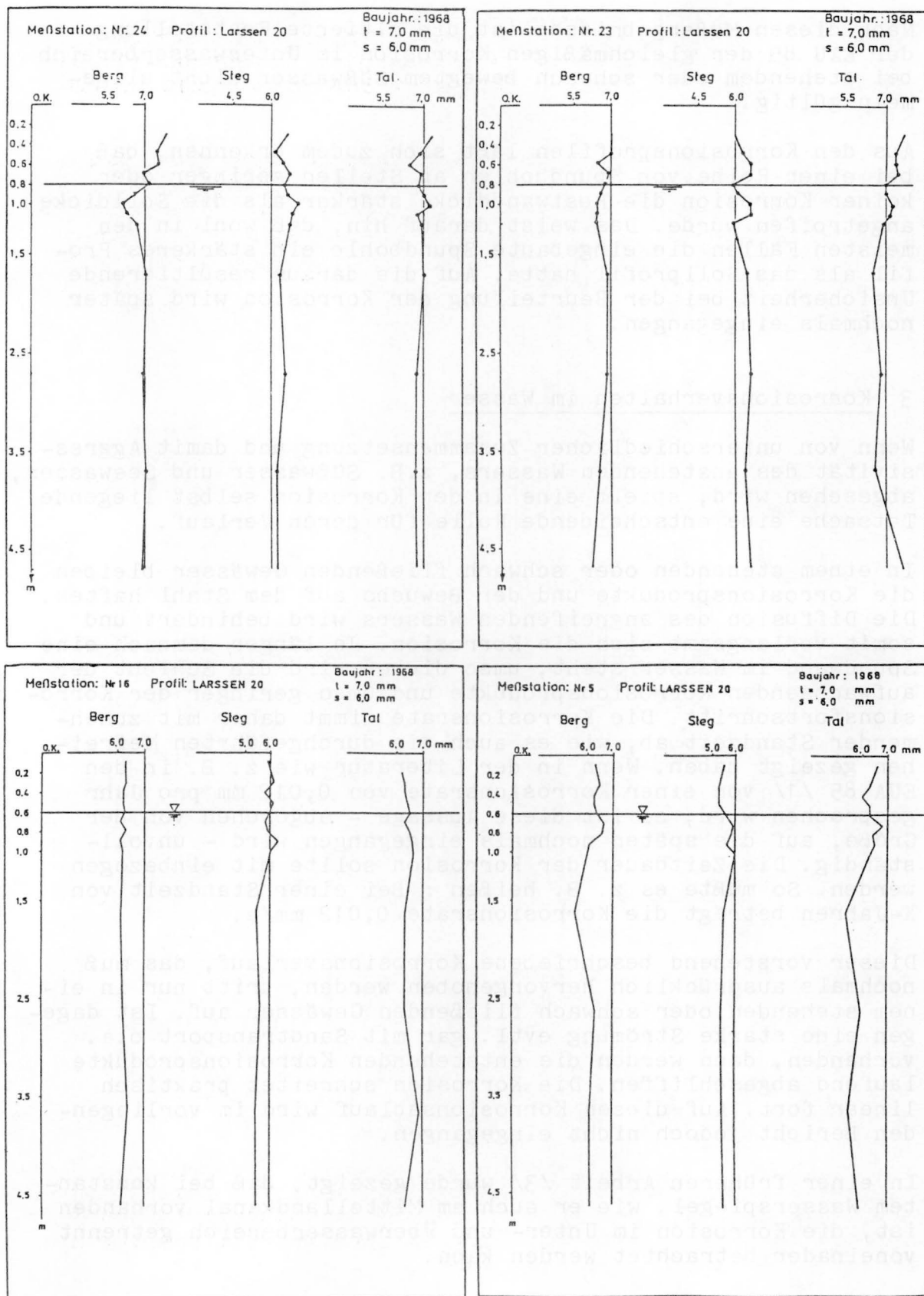


Bild 2 Korrosionsprofile

Nach diesen Meßergebnissen ist die zitierte Feststellung der EAU 85 der gleichmäßigen Korrosion im Unterwasserbereich bei stehendem oder schwach bewegtem Süßwasser nicht allgemein gültig.

Aus den Korrosionsprofilen läßt sich zudem erkennen, daß bei einer Reihe von Spundbohlen an Stellen geringer oder keiner Korrosion die Restwanddicke stärker als die Solldicke angetroffen wurde. Das weist darauf hin, daß wohl in den meisten Fällen die eingebaute Spundbohle ein stärkeres Profil als das Sollprofil hatte. Auf die daraus resultierende Unsicherheit bei der Beurteilung der Korrosion wird später nochmals eingegangen.

3 Korrosionsverhalten im Wasser

Wenn von unterschiedlicher Zusammensetzung und damit Aggressivität des anstehenden Wassers, z.B. Süßwasser und Seewasser, abgesehen wird, spielt eine in der Korrosion selbst liegende Tatsache eine entscheidende Rolle für deren Verlauf.

In einem stehenden oder schwach fließenden Gewässer bleiben die Korrosionsprodukte und der Bewuchs auf dem Stahl haften. Die Diffusion des angreifenden Wassers wird behindert und somit verlangsamt sich die Korrosion. Je länger demnach eine Spundwand im Wasser steht, umso dicker wird die Schicht der aufwachsenden Korrosionsprodukte und umso geringer der Korrosionsfortschritt. Die Korrosionsrate nimmt daher mit zunehmender Standzeit ab, wie es auch die durchgeführten Meßreihen gezeigt haben. Wenn in der Literatur wie z. B. in den EAU 85 /1/ von einer Korrosionsrate von 0,012 mm pro Jahr gesprochen wird, so ist diese Aussage - abgesehen von der Größe, auf die später nochmals eingegangen wird - unvollständig. Die Zeitdauer der Korrosion sollte mit einbezogen werden. So müßte es z. B. heißen: Bei einer Standzeit von X-Jahren beträgt die Korrosionsrate 0,012 mm/a.

Dieser vorstehend beschriebene Korrosionsverlauf, das muß nochmals ausdrücklich hervorgehoben werden, tritt nur in einem stehenden oder schwach fließenden Gewässer auf. Ist dagegen eine starke Strömung evtl. gar mit Sandtransport o.a. vorhanden, dann werden die entstehenden Korrosionsprodukte laufend abgeschliffen. Die Korrosion schreitet praktisch linear fort. Auf diesen Korrosionsablauf wird im vorliegenden Bericht jedoch nicht eingegangen.

In einer früheren Arbeit /3/ wurde gezeigt, daß bei konstantem Wasserspiegel, wie er auch am Mittellandkanal vorhanden ist, die Korrosion im Unter- und Überwasserbereich getrennt voneinander betrachtet werden kann.

3.1 Die Korrosion im Unterwasserbereich

Bei der Betrachtung der Korrosionsprofile in Abbildung 2 fallen vor allem zwei Dinge ins Auge

1. Die Korrosion ist über die Höhe der Spundwand unregelmäßig. In vielen Fällen treten Korrosionsmaxima kurz unterhalb des Wasserspiegels in der Belüftungszone auf. In anderen Fällen finden sich aber auch an tieferen Stellen Bereiche stärkster Abrostung. Da hier nur im Abstand von 1 m gemessen wurde, kann die geringste Restwanddicke in der Nähe des jeweiligen Meßortes liegen und noch geringer als diese sein.

Neben den Stellen stärkster Korrosion finden sich Stellen, an denen offensichtlich keine oder zumindest sehr geringe Abrostung aufgetreten ist.

(Auf die eigentlichen Korrosionsvorgänge mit anodischen und kathodischen Bereichen sei in diesem Bericht nicht eingegangen).

2. Bei einer Reihe von Spundbohlen wurden Restwanddicken gemessen, die größer als die Sollwerte waren und teilweise über den Toleranzgrenzen (Solldicke + 0,5 mm bzw. 6 %) nach den Technischen Lieferbedingungen Ziffer 5.1.2 liegen /4/.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, daß aufgrund der unbekannten Ausgangsdicke und der nicht genau festzustellenden gerinsten Restwanddicke die tatsächliche stärkste Abrostung nur annähernd ermittelt werden kann; sie wird in Wirklichkeit etwas höher als die in diesem Bericht angegebenen Werte liegen.

Wegen dieser Unsicherheiten wurde für die Berechnung der größten Abtragung davon ausgegangen, daß in den Bereichen geringster Korrosion keine oder nur unwesentliche Verminderung der Stahldicke erfolgt ist. Es wird daher die größte gemessene Dicke oder, falls diese unter der Solldicke liegt, diese als Ausgangswert angenommen.

In den Bereichen Osnabrück und Minden wurden je Meßstation (MLK-km) Berg, Tal und zwei Stege, in den Bereichen Hannover und Braunschweig Berg, Tal und ein Steg gemessen. Bei den Abrostungen können zwischen Berg, Tal und Steg keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Aus den gemittelten Abrostungen wurden die Korrosionsraten (Abrostung im Verhältnis zur Standzeit) berechnet und in Tabelle 1 beide Werte niedergelegt. Die Zunahme der Abrostung, deutlicher aber noch die Abnahme der Korrosionsraten ist zu erkennen.

Die Auftragung der mittleren Abrostungswerte ergibt ein unübersichtliches Bild. Optisch günstiger verhält sich die Wiedergabe der Korrosionsraten, wie der Kurvenverlauf in Bild 3 zeigt.

Die Kurvenform deutet darauf hin, daß auch bei dieser Unterwasserkorrosion im stehenden oder schwach fließenden Gewässer die in der Atmosphäre gültige Formel für die Abrostung gilt:

$$G = c \times t^n \quad /5/ \quad /6/$$

wobei

G die Gewichts- oder Dickenabnahme,
c eine Korrosionskonstante, die mit der Abrostung nach 1 Jahr gleichzusetzen ist,
t die Standzeit und
n der Exponent der Kurve ist.

Durch Umformung ergibt sich:

$$\lg G = \lg c + n \lg t.$$

Tabelle 1 Mittelwerte der Abrostung in mm und Korrosionsraten in μm

UNTERWASSERBEREICH				ÜBERWASSERBEREICH		
Jahr	Zahl d. Messgn.	Mittel d. Abrostg. mm	Korr.-Rate μm	Zahl d. Messgn.	Mittel d. Abrostg. mm	Korr.-Rate μm
1	3	0,433	433	3	0,367	367
2						
3	7	0,414	138	7	0,686	222
4	8	0,550	138	8	0,650	163
5	18	0,589	118	18	0,728	146
6	8	0,388	65	8	0,750	125
7	32	0,525	75	32	0,850	121
8	7	0,685	86	7	0,514	64
9	35	0,651	72	35	0,689	77
10	16	0,625	63	16	0,700	70
11	18	0,661	60	18	0,561	51
12	16	0,763	63	16	0,806	67
13	18	0,589	45	18	0,828	64
14	14	0,686	49	14	0,886	63
15	19	0,874	58	19	1,286	85
16	21	0,705	44	21	1,400	88
17	50	0,830	49	26	0,865	51
18	33	0,730	41	33	0,818	46
19						
20						
21	16	0,961	46	16	1,250	60

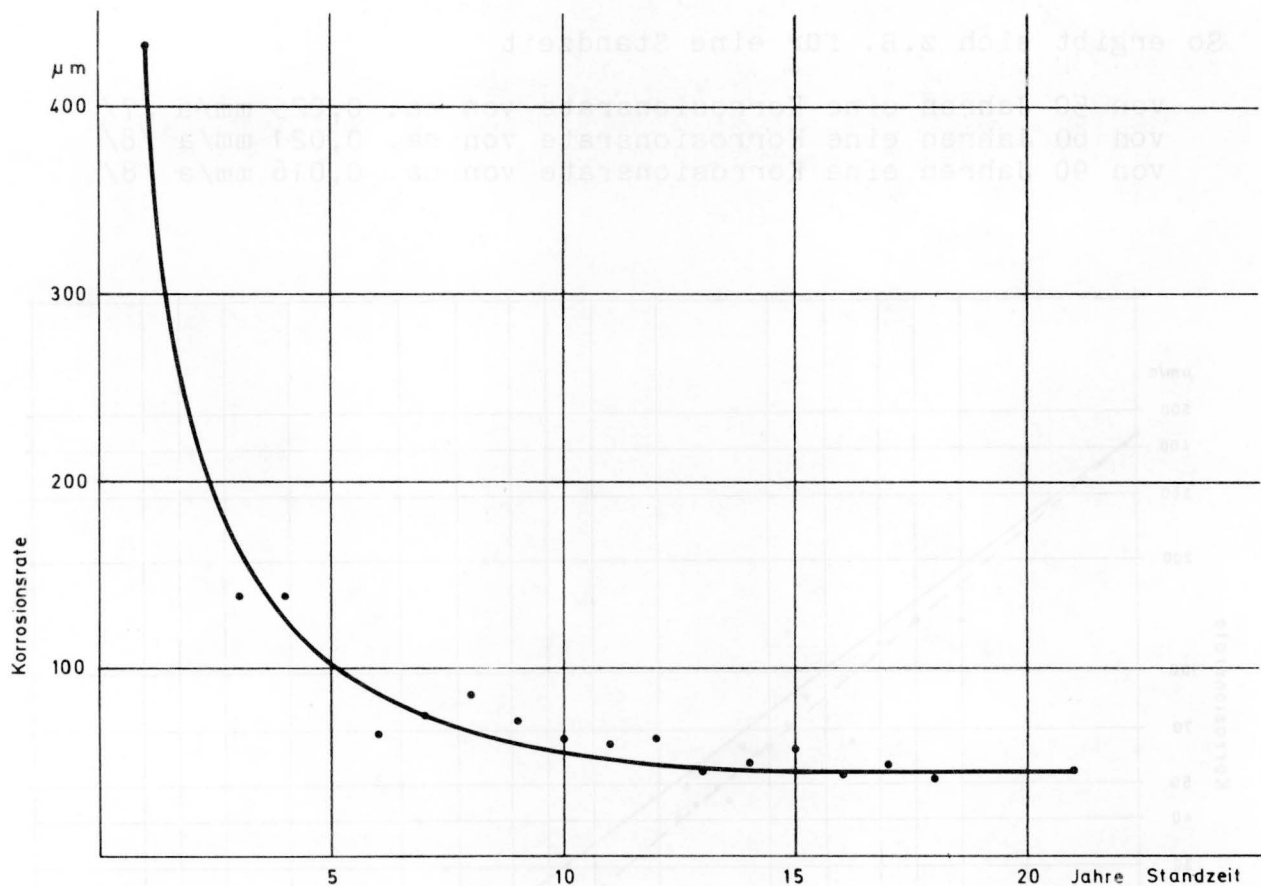


Bild 3 Abhängigkeit der Korrosionsrate von der Standzeit

In doppel-logarithmischem Maßstab stellt sich diese Funktion als Gerade dar. Wie aus Bild 4 ersichtlich, folgen auch die ermittelten Korrosionsraten dieser Funktion. Zwar treten in einigen Fällen starke Abweichungen auf, doch ist die Tendenz deutlich.

Es wurden zwei Geraden eingetragen. Die untere entspricht in etwa dem Mittelwert. Werden jedoch die besprochenen Unsicherheiten berücksichtigt, so ist allgemein mit etwas stärkerer Korrosion zu rechnen. Die obere Gerade wurde daher durch die Maximalwerte gezogen.

Wird diese Gerade als Maßstab für die Abschätzung der Korrosionsrate zugrunde gelegt, so läßt sich für die in den EAU 85 /1/ angegebene Korrosionsrate im Süßwasser von 0,012 mm/a eine erforderliche Standzeit von 130 Jahren ermitteln bis dieser niedrige Wert für den Bereich maximaler Korrosion erreicht ist.

Im Wasserbau erscheint diese Bezugszeit zu lang. Günstiger wäre es, bei Angaben der Korrosionsraten diese auf die theoretische Nutzungsdauer des Bauwerks zu beziehen.

So ergibt sich z.B. für eine Standzeit

von 50 Jahren eine Korrosionsrate von ca. 0,025 mm/a /7/
von 60 Jahren eine Korrosionsrate von ca. 0,021 mm/a /8/
von 90 Jahren eine Korrosionsrate von ca. 0,016 mm/a /8/

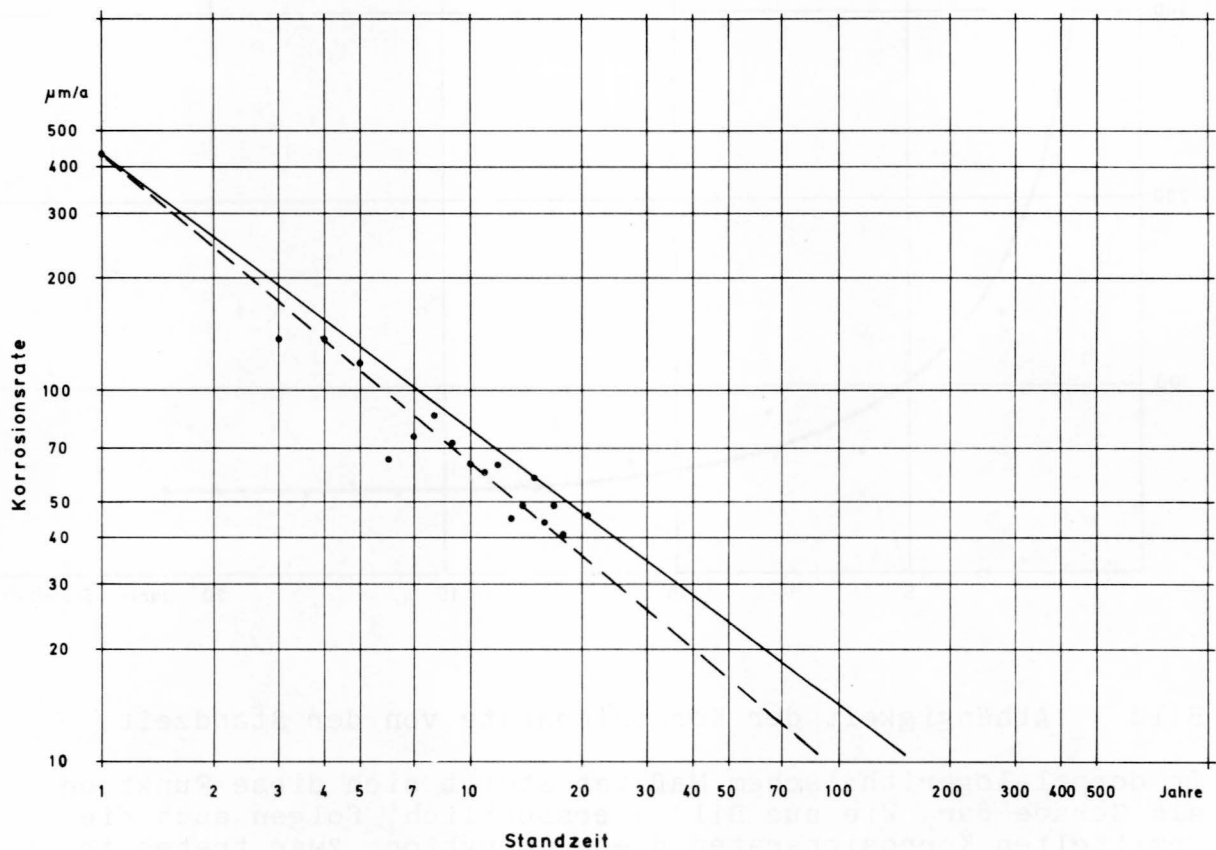


Bild 4 Abhängigkeit der Korrosionsrate von der Standzeit

Es muß jedoch davor gewarnt werden, die vorstehend beschriebenen Ergebnisse auf alle ungeschützten Spundwandbauwerke in Süßwasser zu beziehen. Die der BAW vorliegenden Messungen reichen noch nicht aus, um nähere Angaben über das Korrosionsverhalten von Stahl in verschiedenen Süßwässern machen zu können.

Ist es aber möglich, für ungeschützte Stahlspundbohlen mehrere Korrosionsraten nach unterschiedlichen Standzeiten anzugeben, so lassen sich aus der auf doppellogarithmischem Papier eingetragenen Geraden die Abrostungen für die verschiedensten Standzeiten ablesen oder besser gesagt abschätzen.

3.2 Die Korrosion im Überwasserbereich

Bei der Korrosion im Überwasserbereich wirkt Wellenschlag, Spritzwasser, erhöhte Luftfeuchtigkeit usw. mit ein. Die Rostung läßt sich daher nicht mit der atmosphärischen Korrosion vergleichen.

Allgemein schwanken die Abrostungen für die einzelnen Standzeiten stärker um den jeweiligen Mittelwert als das im Unterwasserbereich der Fall ist.

Auch die Korrosionsraten der einzelnen Jahre, die in Tabelle 1 niedergelegt sind, streuen stark, so daß im logarithmischen Maßstab keine repräsentative Gerade gezogen werden kann.

Wird für jedes Jahr das Verhältnis der Korrosionsraten im Über- und Unterwasserbereich und daraus der Mittelwert gebildet, so ergibt sich, daß die Überwasserkorrosion durchschnittlich 1,3 mal größer als im Unterwasserbereich ist. Bei den vorliegenden Untersuchungen steigt das Verhältnis jedoch in einzelnen Fällen bis zum Zweifachen.

Dadurch gestaltet sich auch eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Korrosion im Überwasserbereich recht schwierig. Für die Praxis mag es ausreichen, für die Überwasserkorrosion das 1,3 fache der Unterwasserkorrosion anzusetzen. Es muß jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß an einzelnen Stellen wesentlich stärkere Abrostungen auftreten können.

4 Zusammenfassung

In der Literatur wie z.B. in den "Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen" EAU 85 /1/ ist für die Korrosion von Stahlspundbohlen in Süßwasser eine gleichmäßige, sehr geringe Korrosion mit einer konstanten Korrosionsrate von 0,012 mm/a angegeben. Aufgrund einer Vielzahl von Messungen an Spundwänden des Mittellandkanals, d.h. in stehendem oder schwach fließendem Süßwasser, wurde nachgewiesen, daß die Korrosion nicht flächenmäßig gleichförmig, sondern mit Korrosionsmaxima und -minima erfolgt.

Die Korrosion verläuft über die Zeit betrachtet nicht geradlinig. Werden die jeweiligen maximalen Abrostungen zugrunde gelegt, so ergibt sich auf doppellogarithmischem Papier eine Gerade, d.h. die Korrosionsrate nimmt mit der Standzeit ab. Bei Angaben von Korrosionsraten sollten daher immer die Standzeiten angegeben werden. Für die in der EAU 85 aufgeführte Korrosionsrate von 0,012 mm/a ist nach den vorliegenden Ergebnissen eine Standzeit von ca. 130 Jahren für Bereiche maximaler Korrosion erforderlich.

In der Praxis sollte die Korrosionsrate auf kürzere Standzeiten bezogen werden. Unter den am Mittellandkanal vorliegenden Bedingungen läßt sich für den Unterwasserbereich die Korrosionsrate zu 0,025 mm/a bei einer Standzeit von 50 Jahren abschätzen.

Im Überwasserbereich liegen stellenweise stärkere Abrostungen vor als im Unterwasserbereich. Das hängt von den verschiedensten Einflüssen ab. Abschätzbare Korrosionsraten lassen sich für diese Stellen aufgrund der bisherigen Meßreihen nur schwer angeben.

Abschließend ist zu bemerken, daß weitere vergleichende Untersuchungen mit anderen, vorliegenden Spundwanddickenmessungen im Süß-, Brack- und Seewasser zur Zeit durchgeführt werden. Eine Veröffentlichung dieser umfassenderen Arbeit wird vorbereitet (s. dazu auch /9/).

5 Literatur

- /1/ Empfehlungen des Arbeitsausschusses
"Ufereinfassungen" (EAU 1985)
Herausgeber: HTG und DGEG. Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften Berlin (1985)
- /2/ Bericht über die Wanddickenmessung an den Spundwänden
des Mittellandkanals

a) MLK-km	28,9	bis	63,53	BAW	(Außenstelle Küste
b) MLK-km	71,0	bis	123,5	BAW	(Hamburg
c) MLK-km	138,10	bis	175,0	BAW	Karlsruhe
d) MLK-km	195,00	bis	256,58	BAW	Karlsruhe

(unveröffentlicht)
- /3/ Hein, W
Korrosion über und unter dem Wasserspiegel
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau
Heft 55 (1984) S. 69 - 77
- /4/ Technische Lieferbedingungen für Stahlspundbohlen.
Fassung 1985 (VkBL 1985 S. 918)
- /5/ Becker, G., Dhingra D. und Thoma Ch.
Mechanismus der Rostbildung auf witterungsbeständigem
Stahl. Arch. Eisenhüttenwesen 40 (1969) S. 341 - 349
- /6/ Schwenk, W. und Terner, H.
Rostungsgeschwindigkeit unlegierter und niedriglegierter
Baustähle. Stahl und Eisen 88 (1968) S. 318 - 321
- /7/ Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge
der Erhaltungskosten für Brücken und sonstige Ingenieur-
bauten. (Ablösungsrichtlinien 1980) Bundesmin. f. Verkehr
- /8/ Leitlinien zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen
in der Wasserwirtschaft (1979)
Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- /9/ Alberts, D.; Eißfeld, F.; Schuppener, B.
Beurteilung alter Spundwandbauwerke an den norddeutschen
Küsten.
Baugrundtagung Nürnberg 1986